Sistema Inteligente de Apoio à Tomada de Decisão na Operação e Manutenção de Transformadores de Força, Potencial e Corrente

R. Attademo (ESCELSA), G.Lambert Torres (FUPAI),
C.H.V. Moaes (FUPAI) e L.E. Borges da Silva (FUPAI)

***Resumo*- Este artigo apresenta os desenvolvimentos realizados no Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico da Escelsa sob o mesmo título deste artigo. Este projeto de dois anos desenvolveu uma nova estrutura de monitoração de transformadores de potência, de corrente e de potencial, diretamente relacionada com as limitações existentes nos sistemas de manutenção em funcionamento atualmente. A estrutura desenvolvida está arquitetada numa configuração híbrida e inteligente, que é aplicável a diferentes tipos transformadores. O objetivo deste projeto é o desenvolvimento de um pacote computacional, com esta metodologia, para o apoio ao processo de tomada de decisão durante a operação e manutenção dos transformadores da ESCELSA.**

***Palavras-Chave*- Sistemas Especialistas, Conjuntos Aproximados, Reconhecimento de Padrões, Extração de Conhecimento, Mineração de Dados, Transformadores de Potência.**

I. Introdução

O papel fundamental que os transformadores exercem no sistema elétrico é bastante conhecido. Muitas vezes, eles funcionam como gargalos no sistema de transmissão, sendo solicitados acima de sua capacidade. Com isto, é fundamental que eles possam um acompanhamento especial que possa mesmo antever possíveis problemas para que eles possam ser solucionados antes de uma ocorrência mais severa.

A manutenção de qualquer equipamento contribui com uma maior disponibilidade dele para o sistema quando ela é executada de forma planejada e otimizada, intervindo somente no momento necessário, no menor tempo possível, visando reduzir os riscos de uma interrupção de energia ao sistema.

E ainda, a manutenção também exerce papel importante na rentabilidade econômica de um sistema elétrico, uma vez que atividades de manutenção são desenvolvidas com a intenção de melhorar o desempenho e aumentar o tempo de vida útil dos equipamentos, postergando ao máximo os investimentos necessários a reposição de equipamentos.

Por outro lado, a concessionária já dispõe de um grande conjunto de dados sobre os processos de manutenção dos transformadores que necessitam ser analisados e relacionados para se verificar possíveis relações causa-efeito e tendências de problemas nos transformadores [1].

Roberto Attademo trabalha na Espírito Santo Centrais Elétricas S.A. - Escelsa (e-mail: engenhar@escelsa.com.br).
Germano Lambert Torres, Carlos Henrique Valério de Moraes e Luiz Eduardo Borges da Silva são afiliados à Fundação de Pesquisa e Assessoramento à Indústria (e-mail: fupai@fupai.com.br).

E mais, o conhecimento sobre os transformadores, seu estado operativo, procedimentos mais utilizados, análise e conclusões que ocorrem deve ser preservada na companhia e está se perdendo com a saída dos técnicos mais experientes.

Assim, seria desejável que fosse desenvolvida uma ferramenta de apoio ao processo de decisão, a qual pudesse auxiliar o corpo técnico da ESCELSA nas diversas intervenções que devem ser feitas nos transformadores. Esta ferramenta deveria observar dados históricos, relacionamentos entre transformadores, relacionamento em grandezas e o conhecimento existente na empresa, para fornecer indicações mais precisas aos técnicos, notadamente aqueles com menor experiência de campo.

II. Premissas Básicas

Com a popularização do uso de computadores disponibilizou-se uma grande quantidade de dados que precisam ser analisados pelos técnicos para auxiliar em sua tomada de decisão ou como também por outros sistemas computacionais que possam ler esses dados da rede para realizarem uma certa tarefa.

Com um grande número de informações, a incapacidade de analisá-las devido justamente ao volume de informações, a necessidade de se tomar uma decisão cada vez mais em um curto espaço de tempo e podendo ainda ocorrer a presença de informações incompletas, as técnicas de Inteligência Artificial realizam uma interface preventiva e decisiva no mundo da informação [2].

A metodologia, que será utilizada no desenvolvimento deste pacote computacional para o apoio ao processo de tomada de decisão na operação e manutenção de transformadores, se constitui em um sistema inteligente híbrido e pode ser dividida em duas partes principais: (a) a extração das características da base de dados e montagem de regras e (b) a montagem de um sistema especialista com estas regras e o conhecimento dos técnicos da ESCELSA.

As diversas técnicas de Inteligência Artificial têm evoluído bastante desde suas proposições iniciais. Atualmente, a “soft computing” já é uma realidade na solução de problemas em diversas áreas, inclusive na de sistemas elétricos de potência [3].

Não obstante este fato, algumas lacunas continuam a existir nas diversas técnicas. Algumas têm mais facilidade no aprendizado, mas apresentam dificuldades nos processos de explanação de como a resposta foi encontrada. Outra possui facilidade no tratamento de imprecisões e valores parciais porém apresenta grandes problemas em

desenvolver processo de busca global.

Uma solução para cobrir estas lacunas poderia ser o desenvolvimento de estruturas que utilizassem mais de uma técnica. Com isto, as características mais adequadas de cada técnica poderiam ser utilizadas melhorando o desempenho total do sistema e criando sistemas híbridos. A integração de técnicas inteligentes tem permitido que este área ganhe cada vez mais importância na solução dos problemas dos sistemas elétricos de potência.

A primeira parte da metodologia, a extração de características, utilizará para proceder a extração do conhecimento a técnica dos conjuntos aproximados ("Rough Set Theory"). proposta por Zdzislaw Pawlak, em 1975 [4]. Esta teoria é uma ferramenta matemática para tratar incerteza e imprecisão e visa facilitar o entendimento das bases de conhecimento da seguinte forma: (a) transformando os valores contínuos em faixas de valores de acordo com o número de classificações que vierem a ser necessárias; (b) reduzindo a base de conhecimento a um conjunto mínimo de atributos, eliminando atributos supérfluos sem perder o poder discriminatório do sistema de base de conhecimento original; e, (c) transformando um conjunto de exemplos em um conjunto de regras que representam o estado operacional de um sistema.

A Teoria de Conjuntos Aproximados está baseada em relações de equivalência que descrevem partições feitas de classes de objetos indiscerníveis, assume que conceitos não são vagos, e que a indiscernibilidade pode ser resolvida por meio de relações de equivalência. Esta teoria tem fornecido subsídios nas investigações que procuram o desenvolvimento de sistemas lógicos e métodos dedutivos com a finalidade de melhor representar a informação incompleta.

A segunda parte utilizará sistemas especialistas difusos. Os sistemas especialistas são programas computacionais que utilizam uma base de conhecimentos, a qual é expressa, por exemplo, na forma de "regras", geradas por um especialista no contexto analisado, e armazenados numa base com fatos (informações não condicionais) do sistema, que através de uma máquina de inferência e uma interface homem-máquina, interagem ordenadamente entre si, na busca de uma solução ao problema especificamente equacionado. Assim, uma das principais etapas na elaboração de um Sistema Especialista, reside na acertada escolha de um conjunto de técnicos (especialistas), que sejam capaz de gerar e ordenar um bom conjunto de regras, redundantes ou não, mas que possam bem retratar o conhecimento operacional do sistema observado, imprimindo-lhe assim, o controle desejado.

Por outro lado, é sabido que a melhor forma de expressar este conhecimento é através de grandezas lingüísticas que são muito difíceis de serem tratadas com as técnicas numéricas convencionais. Assim, optou-se neste projeto pela utilização da Teoria dos Conjuntos Difusos ("Fuzzy Set Theory"), proposta por L.A. Zadeh, em 1965 [5].

Essa técnica também está apoiada na elaboração estruturas matemáticas flexíveis, a qual aceita estados indicadores lingüísticos de suas condições operativas, tais como, alto, baixo, quente, frio, rápido, lento, sem contudo quantificá-los previamente [6].

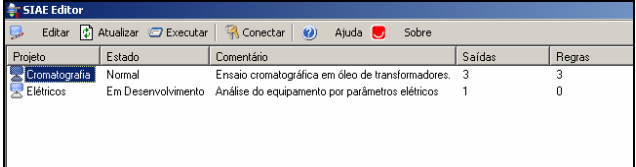
A fusão dos sistemas especialistas com representações e lógica difusa permite criar sistemas especialistas difusos que aumentam a capacidade de representação e inferência em problemas do mundo real [7].

III. Visão do Pacote Computacional

Este pacote contém três programas que compõe o Sistema Inteligente de Análise de Ensaios (SIAE) , sendo um denominado por “SIAE Editor”, outro denominado “SIAE Extrator” e o terceiro “SIAE Operador”. O primeiro programa tem por objetivo ser um editor de regras para os sistemas de manutenção de transformadores da Escelsa. Já o programa SIAE Extrator tem a função de extrair regras automaticamente das bases de dados da concessionária para serem utilizados nos sistemas inteligentes compostos pelo SIAE Editor. Estes dois programas serão utilizados em conjunto para a formação do sistema inteligente de análise.

O programa SIAE Editor incorpora também o programa SIAE Operador, que será utilizado pelos técnicos da Escelsa em seu trabalho diário.

Estes programas foram desenvolvidos em Visual Basic 6.0 utilizando diversas ferramentas adicionais para a interface com placas de aquisição de dados, das lógicas e das interfaces de apresentação do programa.

Os principais objetivos desse pacote de programas são:

- Estruturar um sistema de monitoração de transformadores (de potência, de corrente e de potencial) da Escelsa;
- Extrair as características e principais conhecimentos das bases de dados disponíveis na concessionária, visando estabelecer relacionamentos entre as diversas grandezas e alguns processos de causa-efeito;
- Fornecer um instrumento ágil e expedito da análise de ensaios de transformadores.

O desenvolvimento e o uso do pacote de programas visam alcançar vários benefícios, dos quais pode-se citar:

- Diminuir o risco de análises errôneas e uniformizar os laudos da concessionária;
- Determinar novos procedimentos para análise dos transformadores;
- Identificar possíveis falhas nas análises dos transformadores em operação;
- Estabelecer uma metodologia de testes para os novos transformadores;
- Melhorar da qualidade dos serviços prestados aos clientes.

IV. SIAE Editor

Ao iniciar o programa SIAE Editor será aberta a janela principal do programa, mostrada na figura a seguir, contendo as análises possíveis contidas na base de dados onde o programa foi conectado. Caso a base de dados ainda não for conectada a janela principal não mostrará nenhuma análise, abrindo automaticamente o item de conexão para que o usuário indique a base de dados a ser adicionada ao programa.

Figura 1 – Elementos Fundamentais da Janela Principal

O programa possui diversas janelas de edição que permitem o usuário inserir, alterar e remover itens necessários para a análise do programa.

Figura 2 - Janela das Análises

Pressionando o botão para edição de análises será exibida a janela para edição das mesmas. Nele são escritos o nome da análise, seus comentários suas tabelas e filtros que podem ser preenchidas pelo assistente, e seu estado (Normal, Em desenvolvimento, Desativado).

Para o desenvolvimento de ligação com a base de dados (Tabela e Filtro) foi desenvolvido um programa Assistente., conforme mostrado a seguir. A figura abaixo mostra a seleção das tabelas.

Nela são exibidas as tabelas da base de dados conectada. O usuário seleciona uma ou mais tabelas que deseja usar na análise e, caso tenha selecionado mais de uma tabela, na próxima tela serão feitas às associações, caso seja selecionada somente uma tabela, a próxima tela deve ser desconsiderada.

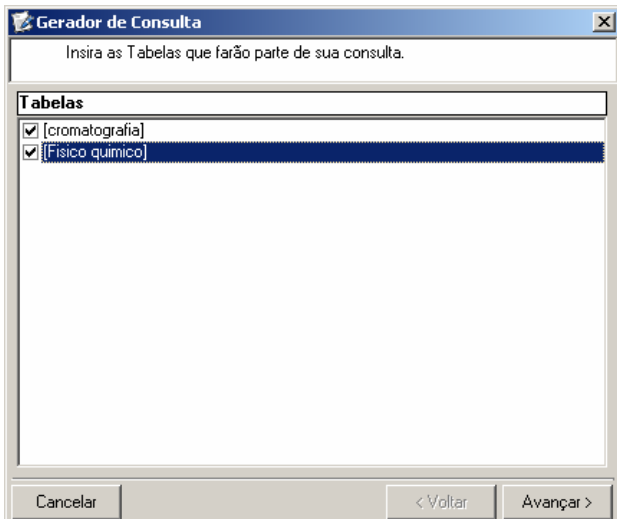



Figura 3 - Janela de seleção de tabelas.

Ao clicar em avançar, surge a janela a seguir. Nela são feitas associações das tabelas pelos campos selecionados, essas associações dizem ao programa como uma tabela se relaciona com a outra.

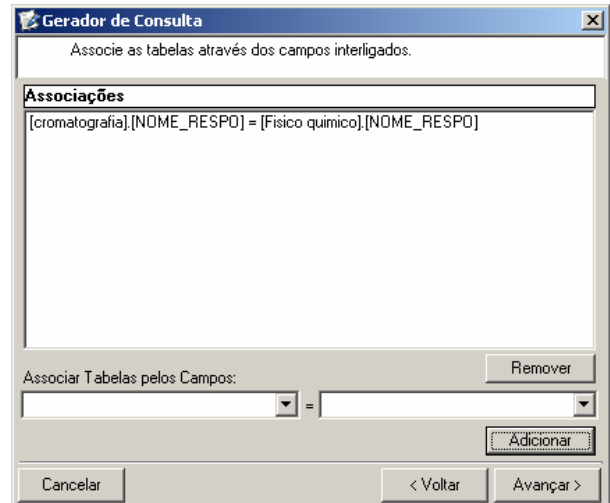



Figura 4 - Janela de associação de tabelas.

Como no exemplo acima, a tabela cromatografia se relaciona com a tabela físico químico através da coluna NOME_RESPO, (nome do responsável) isso quer dizer que o usuário deseja que a pesquisa mostre dados da tabela físico químico que tenham mesmo nome da tabela cromatografia, (dentre os dados pesquisados com as outras regras)

Para fazê-las, basta selecionar os campos a serem associados nos boxes e depois clicar em adicionar. O botão remover remove uma associação selecionada. Feito isso clicar em avançar e então aparecerá a tela a seguir.

Nela o usuário insere campo a campo as colunas de sua análise, seleciona na caixa de seleção "Campo" os campos das tabelas selecionadas.

Na caixa de seleção agrupar, o usuário define se deseja agrupar o campo por (soma, média, contar) ou sem agrupamento (-). Em nome da Coluna, o usuário pode redefinir o nome da coluna que será exibida na análise.

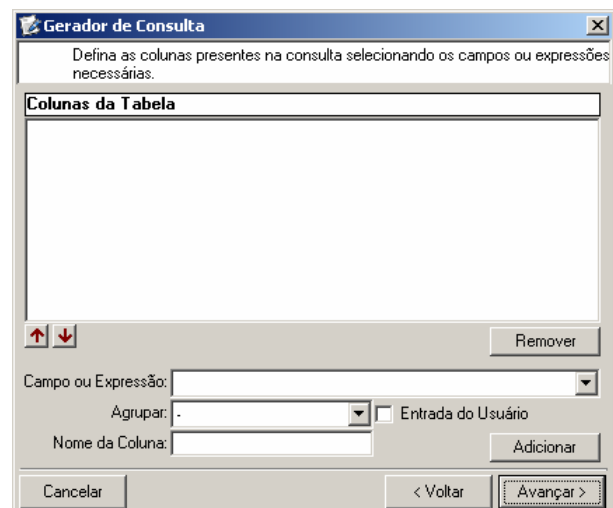



Figura 5 - Janela de seleção de colunas.

Pode-se também adicionar uma expressão que nada mais é que um campo que relaciona um ou mais campos através de uma expressão

Exemplo: "Coluna1 + Coluna2"

E pode definir se este campo adicionado será entrada do usuário clicando no boxe de checagem (Entrada do Usuário). Fazendo isso o usuário define que este campo

será um filtro através do dado que será inserido ao se rodar a pesquisa.

Adicionados todos os campos, o próximo passo é adicionar as condições, clicando em avançar.

Nesta tela são inseridas as condições para filtragem dos dados. É selecionado qual o tipo de lógica, o campo a ser comparado o tipo de comparação e o valor comparado.

Tipo de lógica:

Quando deseja-se que duas condições sejam satisfeitas, usamos o operador E, e quando desejamos que uma das condições seja satisfeita, usamos o operador OU.

Por exemplo, se desejarmos as seguintes condições:

Quando (Campo [QTDE_TEMAB] da tabela [cromatografia] for maior que o Campo [QTDE_TEMAB] da tabela [Fisico quimico]) E (Que o campo [QTDE_UMIDA] da tabela [cromatografia] seja igual ao campo [QTDE_UMIDA] da tabela [Fisico quimico]), ter-se-á a seguinte tela:

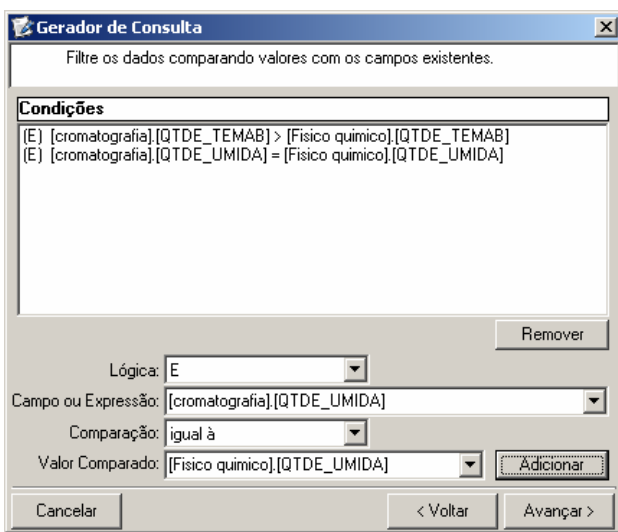



Figura 6 - Janela de adição de condições.

Adicionadas as comparações então clicar em avançar, o programa exibirá a consulta criada.Para um exemplo em que foram selecionadas as colunas NUME-ENSCR, DT_ANOCR, DATA_ENSCR, cromatografia NOME_ RESPO, a consulta exibida será a seguinte:

Gerador de Consulta

Tabela resultante da consulta gerada no assistente.

Resultado da Consulta Gerada

NUME_ENSCR	DT_ANOCR	DATA_ENSCR	cromatografia.N...
771	96	21/12/1996	ARMANDO
771	96	21/12/1996	ARMANDO
771	96	21/12/1996	ARMANDO
771	96	21/12/1996	ARMANDO
771	96	21/12/1996	ARMANDO
771	96	21/12/1996	ARMANDO
771	96	21/12/1996	ARMANDO
771	96	21/12/1996	ARMANDO
771	96	21/12/1996	ARMANDO
771	96	21/12/1996	ARMANDO
771	96	21/12/1996	ARMANDO
771	96	21/12/1996	ARMANDO
771	96	21/12/1996	ARMANDO
771	96	21/12/1996	ARMANDO

Cancelar | < Voltar | Concluir

Figura 7 - Janela de exibição da análise.

Depois de conferir se a consulta está como desejada, basta clicar em concluir para terminar a adição/edição. Caso não esteja basta clicar em Voltar até chegar no local a ser corrigido.

Existe também uma tela adicionar as saídas da consulta, as saídas são os campos que serão criados no banco de dados, com os dados fornecidos pela pesquisa realizada. Define-se o nome da Saída, um comentário para ela e o campo da tabela que será esta saída.

Então se exibem as regras clicando em .

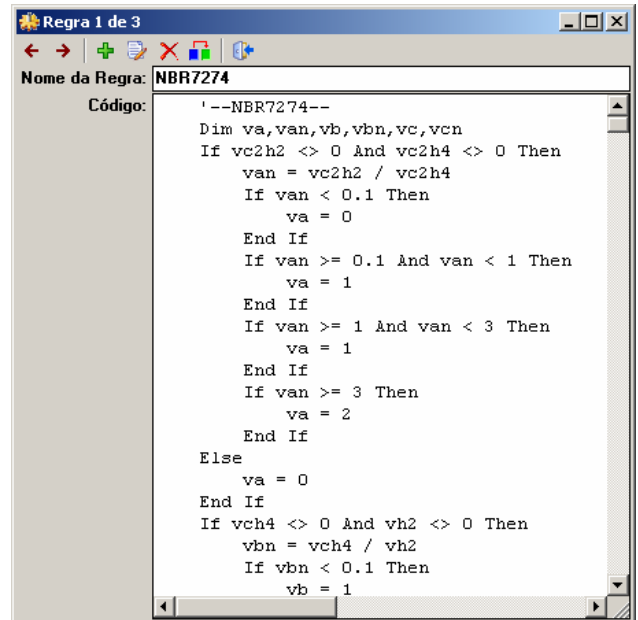



Figura 8 - Janela de adição de regras.

Pode-se então adicionar uma regra usando o botão . O botão inserir ajuda o usuário a inserir os tipos de estruturas de repetição, condicional e as variáveis disponíveis para uso na regra.

As estruturas disponíveis para se montar as regras são: IF, SELEC CASE, FOR e DO LOOP UNTIL.

V. SIAE Extrator

Ao iniciar o programa SIAE Extrator será aberta a janela principal do programa, mostrada na figura a seguir, contendo as análises possíveis contidas na base de dados onde o programa foi conectado. Caso a base de dados ainda não for conectada a janela principal não mostrará nenhuma análise, abrindo automaticamente o item de conexão para que o usuário indique a base de dados a ser adicionada ao programa. Os passos para se efetivarem uma conexão serão mostrados nos itens a seguir neste Manual.

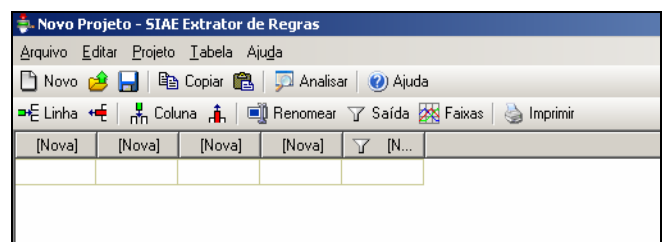
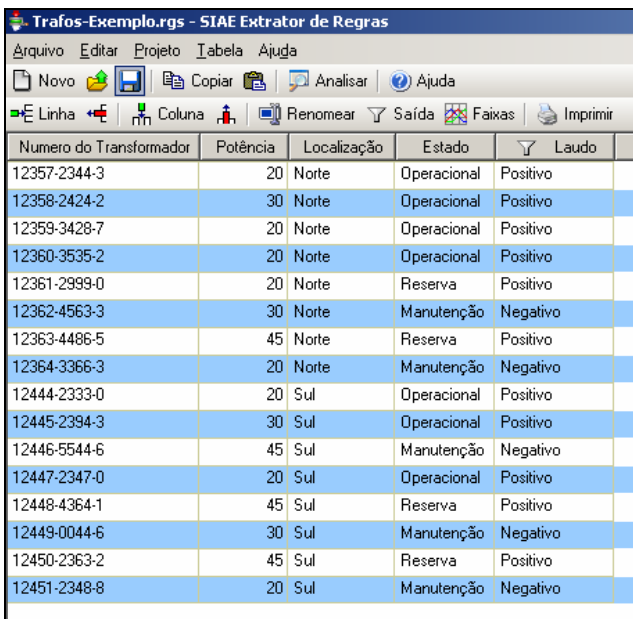



Figura 9 - Elementos Fundamentais da Janela Principal

O programa possui diversos elementos de edição que permitem o usuário inserir, alterar e remover itens necessários para a análise do programa.

V.1 Criando uma Nova Análise

Abre-se o programa SIAE Extrator ou pressionasse "Novo" na barra de ferramentas principal e insira o número necessário de colunas (grandezas) para a análise, utilizando os ícones "Adicionar Coluna" e "Remover Coluna".

Pode-se definir o nome das colunas da seguinte forma. Seleciona-se a coluna e clica-se na opção "Renomear". Neste instante aparecerá a janela abaixo que permite modificar o nome da coluna.

Para diferenciar as grandezas (colunas) de entrada das grandezas (colunas) de saída a serem analisadas. Basta selecionar aquela coluna que conterá a grandeza de saída e clicar na opção "Saída". É necessário existir, pelo menos, uma saída para possibilitar a análise do programa.

No exemplo abaixo, as colunas foram renomeadas para: Número do Transformador, Potência, Localização, Estado e Laudo. Esta última foi definida como saída e está acompanhada pelo símbolo ⊻.

Trafos-Exemplo.rgs - SIAE Extrator de Regras

Arquivo Editar Projeto Tabela Ajuda

Novo Copiar Analisar Ajuda

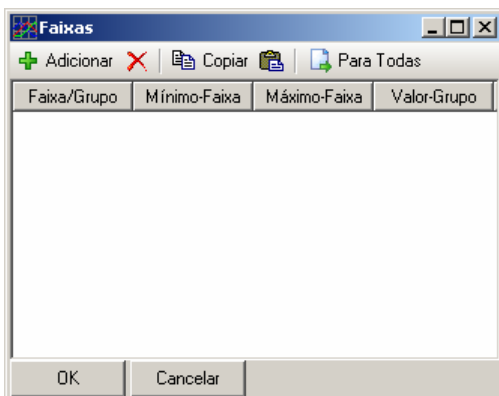
Linha Coluna Renomear Saída Faixas Imprimir

Numero do Transformador	Potência	Localização	Estado	Laudo
12357-2344-3	20	Norte	Operacional	Positivo
12358-2424-2	30	Norte	Operacional	Positivo
12359-3428-7	20	Norte	Operacional	Positivo
12360-3535-2	20	Norte	Operacional	Positivo
12361-2999-0	20	Norte	Reserva	Positivo
12362-4563-3	30	Norte	Manutenção	Negativo
12363-4486-5	45	Norte	Reserva	Positivo
12364-3366-3	20	Norte	Manutenção	Negativo
12444-2333-0	20	Sul	Operacional	Positivo
12445-2394-3	30	Sul	Operacional	Positivo
12446-5544-6	45	Sul	Manutenção	Negativo
12447-2347-0	20	Sul	Operacional	Positivo
12448-4364-1	45	Sul	Reserva	Positivo
12449-0044-6	30	Sul	Manutenção	Negativo
12450-2363-2	45	Sul	Reserva	Positivo
12451-2348-8	20	Sul	Manutenção	Negativo

Figura 10 – Exemplo de uma base para análise.

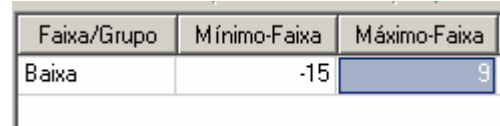
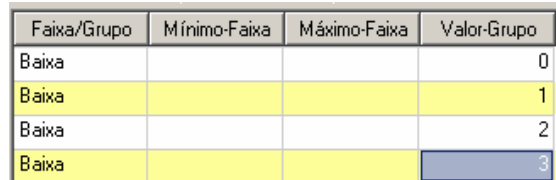
V.2 Criando Faixas

Durante todo o processo de preenchimento de valores, as faixas (necessárias para transformar os valores das colunas de lineares em discretas) podem ser inseridas no programa. Assim para inserir faixas selecione a grandeza e pressione o botão "Faixas" na barra de ferramentas. Neste instante aparecerá a janela abaixo.

Figura 11 – Exemplo de uma base para análise.

Para adicionar faixas pressione o botão adicionar na barra de ferramentas da janela de faixas. Existem duas formas de definir faixas: (a) Inserir faixa referente a um intervalo de valores, de um valor mínimo até um máximo;

Faixa/Grupo	Mínimo-Faixa	Máximo-Faixa
Baixa	-15	9

Figura 12 – Definição de faixas para análise - limites.

(b) Definir grupos de valores que se tornaram um único valor.

Faixa/Grupo	Mínimo-Faixa	Máximo-Faixa	Valor-Grupo
Baixa			0
Baixa			1
Baixa			2
Baixa			3

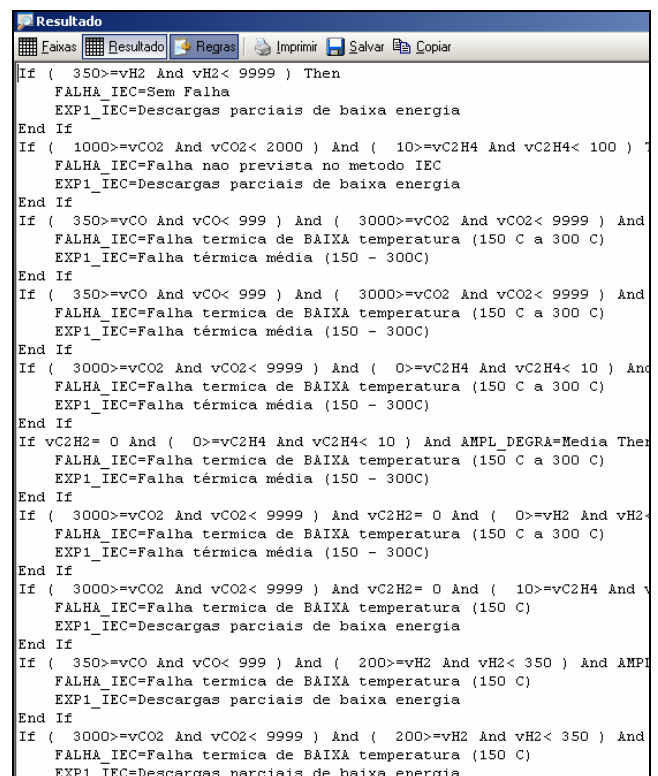



Figura 13 – Definição de faixas para análise - grupos.

No caso de grupos, a figura mostra que os valores existentes na tabela: 0, 1, 2, 3 se tornarão o texto "Baixa" na análise.

V.3 Executando Análise

Ao finalizar o preenchimento dos valores e faixas pode-se iniciar a análise, pressionando-se o botão "Analisar" na barra de ferramentas principal do programa.

Ao término da análise será exibida a janela de resultados onde será possível verificar a transformação dos valores em faixas, o resultado em tabela e as regras finais obtidas no programa. A figura abaixo mostra a janela Regras, com as regras extraídas. Assim é possível imprimir, salvar e copiar as regras extraídas.

Resultado

Faixas Resultado Regras Imprimir Salvar Copiar

```
If (  350>=vH2 And vH2< 9999 ) Then
    FALHA_IEC=Sem Falha
    EXP1_IEC=Descargas parciais de baixa energia
End If
If (  1000>=vCO2 And vCO2< 2000 ) And (  10>=vC2H4 And vC2H4< 100 ) T
    FALHA_IEC=Falha nao prevista no metodo IEC
    EXP1_IEC=Descargas parciais de baixa energia
End If
If (  350>=vCO And vCO< 999 ) And (  3000>=vCO2 And vCO2< 9999 ) And
    FALHA_IEC=Falha termica de BAIXA temperatura (150 C a 300 C)
    EXP1_IEC=Falha térmica média (150 - 300C)
End If
If (  350>=vCO And vCO< 999 ) And (  3000>=vCO2 And vCO2< 9999 ) And
    FALHA_IEC=Falha termica de BAIXA temperatura (150 C a 300 C)
    EXP1_IEC=Falha térmica média (150 - 300C)
End If
If (  3000>=vCO2 And vCO2< 9999 ) And (  0>=vC2H4 And vC2H4< 10 ) And
    FALHA_IEC=Falha termica de BAIXA temperatura (150 C a 300 C)
    EXP1_IEC=Falha térmica média (150 - 300C)
End If
If vC2H2= 0 And (  0>=vC2H4 And vC2H4< 10 ) And AMPL_DEGRA=Media Then
    FALHA_IEC=Falha termica de BAIXA temperatura (150 C a 300 C)
    EXP1_IEC=Falha térmica média (150 - 300C)
End If
If (  3000>=vCO2 And vCO2< 9999 ) And vC2H2= 0 And (  0>=vH2 And vH2<
    FALHA_IEC=Falha termica de BAIXA temperatura (150 C a 300 C)
    EXP1_IEC=Falha térmica média (150 - 300C)
End If
If (  3000>=vCO2 And vCO2< 9999 ) And vC2H2= 0 And (  10>=vC2H4 And v
    FALHA_IEC=Falha termica de BAIXA temperatura (150 C)
    EXP1_IEC=Descargas parciais de baixa energia
End If
If (  350>=vCO And vCO< 999 ) And (  200>=vH2 And vH2< 350 ) And AMPI
    FALHA_IEC=Falha termica de BAIXA temperatura (150 C)
    EXP1_IEC=Descargas parciais de baixa energia
End If
If (  3000>=vCO2 And vCO2< 9999 ) And (  200>=vH2 And vH2< 350 ) And
    FALHA_IEC=Falha termica de BAIXA temperatura (150 C)
    EXP1_IEC=Descargas parciais de baixa energia
```

Figura 14 – Lista parcial da janela de regras.

VI. SIAE OPERADOR

Ao iniciar o programa SIAE Operador será aberta a janela principal do programa, mostrada na figura a seguir, contendo as análises possíveis contidas na base de dados onde o programa foi conectado. Caso a base de dados ainda não for conectada a janela principal não mostrará nenhuma análise disponível para ser realizada, abrindo automaticamente o item de conexão para que o usuário indique a base de dados a ser adicionada ao programa.

Análise	Comentário	Modificado
Cromatografia	Ensaio cromatográfica em óleo de transformadores.	2/5/2005 15:21:47
Elétricos	Análise do equipamento por parâmetros elétricos	27/6/2005 20:12:30

Figura 14 - Janela Principal do Programa SIAE Operador

Para executar uma análise selecione a análise desejada na tabela de análise mostrada na janela principal do programa. Ao pressionar duas vezes sobre a análise ou pressionando o botão "Análise" na barra de ferramentas ela será aberta e iniciará os filtro para seleção do equipamento ou ensaio a ser analisado.

Antes de abrir a janela para a análise, será mostrada inicialmente a janela de filtro para selecionar o(s) ensaio(s) que se deseja analisar.

Figura 15 - Utilizando 2 filtros para selecionar ensaio

Com a seleção do filtro realizada, o programa abrirá a janela de análise dos ensaios. Nesta janela estão contidas as funções de análise, impressão e atualização de informações a serem realizadas sobre o bloco de ensaios listados na tabela principal, que são mostrados na figura a seguir.

Cromatografia

Filtros Atualizar Analisar Copiar Relatório Saídas Sair

Equipamento	Data_Ensaio	NSerie	vCO	vCO2	vC2H2	vC2
TR0014	21/12/1996	46348	180	3000	1	43
TR0014	14/2/1995	46348	270	3200	1	17
TR0014	14/8/1995	46348	240	3800	1	17
TR0014	20/12/1995	46348	180	2500	3	96
TR0014	1/2/1996	46348	330	4500	4	132
TR0014	26/1/1996	46348	270	3900	4	111
TR0014	5/2/1996	46348	320	4300	4	132
TR0014	15/2/1996	46348	350	4100	4	112
TR0014	13/3/1996	46348	330	3500	3	90
TR0014	22/5/1996	46348	240	3000	2	66
TR0014	12/8/1996	46348	200	3200	2	61
TR0014	9/9/1996	46348	210	3500	2	62
TR0014	30/9/1996	46348	190	3100	2	52
TR0014	8/10/1996	46348	170	2900	2	48
TR0014	28/10/1996	46348	170	2700	1	43
TR0014	11/11/1996	46348	190	3000	1	46
TR0014	25/11/1996	46348	190	3000	1	46
TR0014	9/12/1996	46348	180	3100	2	46
TR0014	16/12/1996	46348	190	3100	2	45
TR0014	23/12/1996	46348	180	3000	1	43
TR0014	13/1/1997	46348	180	2900	1	39
TR0014	6/2/1997	46348	210	3000	1	39
TR0014	11/8/1997	46348	150	2300	1	20
TR0014	14/4/1994	46348	90	990	1	1

Figura 16 - Janela de Análise

Ao pressionar o botão "Análise" na barra de ferramentas o programa iniciará as rotinas de cálculo das regras do estudo, gerando assim as saídas contendo os resultados obtidos. Durante a execução das regras será exibida uma barra de progresso mostrando o andamento da análise da tabela.

OBS2_LAUDO	NBR7274	Rogers	Laborelec
	Falha térmica muito alta (>700C)	Falha térmica muito alta (300 -700C)	Degradação Normal
	Falha térmica muito alta (>700C)	Falha térmica média (100 - 200C)	Degradação Normal
	Falha térmica muito alta (>700C)	Falha térmica muito alta (300 -700C)	Degradação Normal
	Falha térmica muito alta (>700C)	Falha térmica muito alta (300 -700C)	Degradação Normal
	Falha térmica muito alta (>700C)	Falha térmica muito alta (300 -700C)	Degradação Normal
	Falha térmica muito alta (>700C)	Falha térmica muito alta (300 -700C)	Degradação Normal
	Falha térmica muito alta (>700C)	Falha térmica muito alta (300 -700C)	Degradação Normal
	Falha térmica muito alta (>700C)	Falha térmica muito alta (300 -700C)	Degradação Normal
	Falha térmica muito alta (>700C)	Falha térmica muito alta (300 -700C)	Degradação Normal
	Falha térmica muito alta (>700C)	Falha térmica média (100 - 200C)	Degradação Normal
	Falha térmica muito alta (>700C)	Falha térmica média (100 - 200C)	Degradação Normal
	Falha térmica muito alta (>700C)	Falha térmica muito alta (300 -700C)	Degradação Normal
	Falha térmica muito alta (>700C)	Falha térmica muito alta (300 -700C)	Degradação Normal
	Falha térmica muito alta (>700C)	Falha térmica média (100 - 200C)	Degradação Normal
	Falha térmica muito alta (>700C)	Falha térmica média (100 - 200C)	Degradação Normal
	Falha térmica muito alta (>700C)	Falha térmica média (100 - 200C)	Degradação Normal
	Falha térmica muito alta (>700C)	Falha térmica média (100 - 200C)	Degradação Normal
	Falha térmica muito alta (>700C)	Falha térmica média (100 - 200C)	Degradação Normal
	Falha térmica muito alta (>700C)	Falha térmica média (100 - 200C)	Degradação Normal
	Falha térmica muito alta (>700C)	Falha térmica média (100 - 200C)	Degradação Normal
	Falha térmica muito alta (>700C)	Falha térmica média (100 - 200C)	Degradação Normal
	Falha térmica muito alta (>700C)	Falha térmica média (100 - 200C)	Degradação Normal
	Descargas Parciais de Alta energia	Falha térmica média (100 - 200C)	Degradação Normal
	Falha térmica muito alta (>700C)	Falha térmica muito alta (300 -700C)	Degradação Normal

Figura 17 - Resultados obtidos do estudo

VII. CONCLUSÕES

Os serviços de manutenção interferem diretamente na qualidade e continuidade do fornecimento de energia elétrica. Uma manutenção bem feita, evita desligamentos intempestivos e prolonga o funcionamento dos equipamentos. Para que uma manutenção seja bem feita, ela deve iniciar com um laudo correto, que aponte os possíveis defeitos (ou futuros defeitos) de forma clara.

O produto esperado deste projeto era o desenvolvimento de uma metodologia para análise de dados do sistema de manutenção dos transformadores da Escelsa. Esta metodologia foi, em seguida, implementada em um pacote computacional, denominado SIAE (Sistema Inteligente de Análise de Ensaios).

Este pacote computacional atua, fornecendo laudos corretos e precisos aos operadores e seguindo as orientações e diretrizes das normas técnicas e da empresa.

VIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] M. Milasch, *Manutenção de Transformadores em Líquido Isolante*, Edgar Blücher; 1984.
[2] C.-C. Liu, S.J. Dicker, G. Lambert Torres et al. - "Testing and Maintenance Procedures for Expert System in Power System Operation and Planning", *Electra*, No. 173, pp. 92-113, Aug. 1997.
[3] G. Lambert Torres, et alli., Power system security analysis based on rough classification. Book Chapter Rough-Fuzzy Hybridization: New Trend in Decision Making, S.K. Pal & A Skowron (Ed.) Springer-Verlag Co.
[4] Z. Pawlak, *Rough Sets - Theorical Aspects of Reasoning about Data*, Kluwer Academic Publisher, Netherlands.
[5] L. A. Zadeh - "Fuzzy Sets", *Information and Control*, Vol.8, pp.338-353, 1965.
[6] G. Lambert Torres, L.E. Borges da Silva & J.O.P. Pinto - "MiniMax Techniques", Webster Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering, por John Webster, John Wiley & Sons, Inc., 2001.
[7] K. Tomsovic & G. Lambert Torres - On the Use of Fuzzy Logic Techniques for Addressing Uncertainty in Power System Problems, PMAPS-RIMAPS Tutorial, 83 pages, 2000.